

文章编号:1671-8879(2014)02-0034-04

基于非均相体系沥青抽提液中的矿粉清除方法

李海滨¹, 盛燕萍², 耿九光²

(1. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 交通铺面材料教育部工程研究中心, 陕西 西安 710061)

摘要:针对目前常规方法不能有效去除沥青抽提液中矿粉的问题,研究利用非均相物系分离理论对回收液中的矿粉进行沉降分析,推导得出重力沉降和离心沉降的沉降速度及沉降时间的计算模型,根据试验原材料、仪器规格选择计算参数,计算得出矿粉的沉降速度及沉降时间,并通过试验验证了计算模型的准确性;同时调整了计算参数,总结得出了适用于绝大多数基质沥青抽提液的矿粉沉降计算模型。研究结果表明:计算模型具有较高的准确性与可靠性;离心加速度越大,矿粉密度越大,矿粉沉降时间就越短;施加相对离心力不小于 24 647 N/kg(2 515g)、离心分离时间不少于 50 min,能够有效地消除沥青抽提液中的矿粉。

关键词:道路工程;沥青路面;沉降速度;沉降时间;沥青回收;残留矿粉;延度

中图分类号:U414.18

文献标志码:A

Removing method of mineral powder from asphalt extraction liquid based on heterogeneous system

LI Hai-bin¹, SHENG Yan-ping², GENG Jiu-guang²

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Engineering Research Center of Transportation Materials of the Ministry of Education,

Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: Aimed at ineffectiveness of mineral powder removing from asphalt extraction liquid, heterogeneous content system theory of separation was used to analyze the mineral powder sedimentation. Computation models of sedimentation velocity and sedimentation time about gravitational sedimentation and centrifugal sedimentation were built. Sedimentation velocity and sedimentation time were calculated based on materials and instrument specification, and the computed results were proved to be exact by experiments. With adjustment of calculation parameters, calculation models for mineral powder sedimentation from most asphalt extraction liquids were proposed. The results show that the calculation models are of high accuracy and reliability; the sedimentation time of mineral powder will decrease when the centrifugal acceleration and mineral powder density increase. Applying relative centrifugal force not less than 2 515 g with the time for centrifuging not less than 50 min, mineral powder will be removed from asphalt recycling effectively. 2 tabs, 1 fig, 10 refs.

Key words: road engineering; asphalt pavement; sedimentation velocity; sedimentation time; asphalt recycling; residual mineral powder; ductility

收稿日期:2013-02-06

基金项目:国家自然科学基金项目(52108047,51108374);中国博士后科学基金项目(2013M532005);

河北省省级计划项目(Y-2011004,Y-2011005);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2013JQ7031)

作者简介:李海滨(1980-),男,山东潍坊人,讲师,工学博士,E-mail:lihaibin1212@126.com。

0 引言

中国早期修筑的、甚至是 21 世纪以后修筑的沥青路面已陆续进入了养护、大中修阶段,每年产生的废旧沥青混合料多达几千万吨,若对废旧沥青混合料进行再生利用将会产生巨大的环境、经济和社会效益。交通运输部在 2008 年便将“废旧沥青路面材料再生利用技术”作为重点推广的项目之一。但目前沥青再生技术中还存在许多尚未解决的问题^[1-2]:一是准确预估老化沥青再生恢复的程度困难;二是沥青回收方法有明显缺陷,这主要是矿粉及三氯乙烯在回收过程中无法完全去除,并对回收的废旧沥青造成再次老化;三是再生沥青混合料耐久性的评价方法不成熟;四是再生沥青混合料的设计及施工方面还存在着许多缺陷。废旧沥青的回收、检测与评价是沥青再生技术的关键技术之一,但由于目前的回收方法不能将矿粉去除到合理含量以下,故对沥青混合料再生技术的后续影响很大^[3]。

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTGE 20-2011)中推荐采用阿布森法或旋转蒸发器法从沥青混合料中回收沥青,这 2 种方法均采用离心机去除矿粉,但试验所得的抽提液中含有一定量的矿粉,而相关研究证明少数矿粉即可对沥青的性能,特别是延度产生较大的影响^[4]。郑南翔等提出采用自然沉降 27 h 的方法可以获得矿粉含量低于 0.5% 的回收沥青,但是该方法一方面效率低下,同时对于不同矿粉其沉降效果还有待进一步研究^[5]。为此,本文利用非均相物系分离理论对回收液中的矿粉进行沉降分析,推导出重力沉降和离心沉降的沉降速度及沉降时间的计算模型,然后根据试验原材料、仪器规格选择计算参数,计算得出矿粉的沉降速度及沉降时间,并通过试验验证了计算模型的准确性。

1 矿粉沉降理论

1.1 矿粉沉降速度计算模型

相关研究表明,可以利用非均相物系分离的理论分析含有矿粉的沥青抽提液^[6-7],将矿粉固体颗粒称为分散相,沥青溶液称为连续相,则分散相在重力(离心力)作用下利用其与连续相之间的密度差发生相对运动分离的现象称之为沉降。当矿粉颗粒体积较小时,其重力沉降公式可以用式(1)来描述^[8-9]。

$$v = \frac{d^2(\rho_k - \rho_l)g}{18\eta} \quad (1)$$

式中: d 为矿粉颗粒直径; ρ_k 为矿粉颗粒密度; η 为沥青溶液的粘度; v 为矿粉颗粒沉降速度; ρ_l 为溶液的密度; g 为重力加速度。

若施加相对离心力,其沉降模型仍然为式(1),但需将重力加速度替换为离心加速度,则如式(2)可表示为

$$v = \frac{d^2(\rho_k - \rho_l)\omega^2 r}{18\eta} \quad (2)$$

式中: ω 为旋转角速度(rad/s); r 为旋转半径。

1.2 矿粉沉降时间的计算模型

矿粉的沉降时间即为矿粉最大沉降距离 s (容器内液面到容器底部的距离)与矿粉沉降速度 v 的比值,对于重力沉降而言,利用式(1)可以得出重力沉降时间 t 的计算式

$$t = \frac{s}{v} = \frac{18\eta s}{d^2(\rho_k - \rho_l)g} \quad (3)$$

对于施加相对离心力作用的矿粉沉降比单纯的重力沉降要复杂,因为对于某一特定矿粉颗粒,其旋转半径及沉降速度是随着沉降过程而不断变化的,因此需要利用积分方法进行离心沉降的计算,即

$$t = \int_{r_1}^{r_2} \frac{18\eta}{d^2(\rho_k - \rho_l)\omega^2 r} dr = \frac{18\eta \ln(r_b/r_f)}{d^2(\rho_k - \rho_l)\omega^2} \quad (4)$$

式中: r_b 为沉降开始阶段矿粉颗粒距旋转中心的距离; r_f 为沉降完成阶段矿粉颗粒距旋转中心的距离。

通过上述计算模型的分析可知,决定矿粉分离效果的因素主要是临界沉降粒径和分离时间,只有当这 2 个条件都满足时,溶液中的矿粉才能完全分离。

2 矿粉沉降计算

2.1 沉降参数确定

相关研究表明,目前常用的石灰岩矿粉中粒径小于 $0.12 \mu\text{m}$ 的含量非常低,可以忽略不计,故本文在研究中选择矿粉沉降的最小半径为 $0.12 \mu\text{m}$ ^[9];为了通过试验对计算模型的准确性进行验证,故其他沉降参数的选取均采取实测值。研究采用最为常见的石灰岩矿粉的密度 2.71 g/cm^3 ,并按照粉胶比 1.0 的比例与 KLMY90# 基质沥青进行拌和,所得混合物进行沥青抽提试验。实测试验所得沥青溶液的粘度为 $0.58 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,密度为 1.493 g/cm^3 ;研究过程中所用离心杯的容量为 250 mL,试验中沥青溶液的液面与容器底部距离为 0.1 m,离心杯液面与底部距离旋转中心的距离分别为 0.2 m 和 0.3 m,采用的离

心机转速分别为 1 660(对应规范 770 g(7 546 N/kg)的相对离心力^[10])、2 000、3 000、4 000 和 5 000 r/min。

2.2 沉降时间计算

根据既定参数,依据式(1)~式(4),计算得出不同离心转速下矿粉的沉降速度和沉降完成时间,并将结果汇总于表 1。

表 1 矿粉沉降速度及沉降时间

Tab. 1 Mineral power sedimentation velocities and sedimentation time

类别		沉降速度/(cm·s ⁻¹)	沉降时间/min
离心机 转速/ (r·min ⁻¹)	重力沉降	1.65×10 ⁻⁶	103 486
	1 660	1.27×10 ⁻³	133
	2 000	1.84×10 ⁻³	92
	3 000	4.14×10 ⁻³	41
	4 000	7.36×10 ⁻³	23
	5 000	1.15×10 ⁻²	14

由表 1 可以看出,离心机转速在 1 660 r/min 时(对应规范中 7 546 N/kg(770 g)的相对离心力)矿粉沉降完成需要 133 min,而规范的规定为 30 min,这显然不能将矿粉彻底去除,但通过提高离心机的转速可大大降低矿粉沉降所需的时间。从表 1 可以看出,当离心机的转速为 5 000 r/min 时,矿粉的沉降时间只需要 14 min。

3 试验验证

为了验证上述获取结果的准确性,根据所得结果进行验证性试验的设计,分别选取离心机转速 1 660 r/min 和 3 000 r/min 下不同离心时间所得的回收沥青,与原沥青进行对比试验。由于已有相关研究证明少量矿粉含量将对沥青的延度具有较大影响,因此在验证试验中选取延度作为评价指标,对比验证试验结果如表 2 和图 1 所示,已知原沥青 15 ℃的延度为 150 cm。

表 2 回收沥青延度试验结果

Tab. 2 Experimental results of recycled asphalt ductility		
沉降时间/min	不同离心机转速(r/min)的回收沥青延度/cm	
	1 660	3 000
30	65	130
50	98	146
80	126	148
120	145	144
160	147	146

从表 2 和图 1 中可以看出,当离心机转速为 3 000 r/min 时,试验回收的沥青在沉降 40~50 min 时延度便达到 140 cm 以上,而此时对应离心转速为

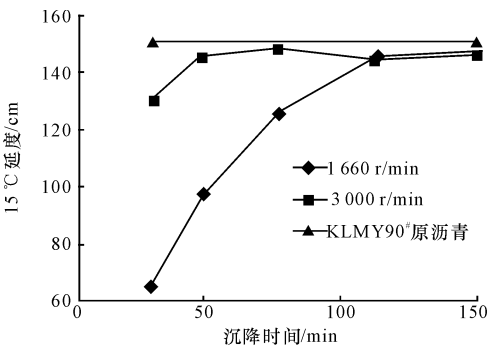


图 1 沉降时间、旋转速度与回收沥青的 15 ℃延度关系

Fig. 1 Relationships of sedimentation time, rotation speed and 15 ℃ ductility of recycled asphalt

1 600 r/min 时所回收的沥青,其延度只有 80 cm 左右,直到沉降时间达到 120 min 时,其延度才达到 140 cm 以上。此外,30 min 时所回收的沥青的延度只有 65 cm,这说明规范推荐的方法并不能十分有效地去除矿粉,还需要延长离心机分离的时间。试验中所得到的矿粉沉降规律与计算得到的规律比较一致,说明提出的计算模型具有较高的准确性与可靠度。

为了给出更为广义的去除矿粉的方法,结合已有研究成果,对工作效率、仪器性能的要求等因素进行相关计算参数的调整,进一步给出计算公式更高的适用性与可靠度。本文将矿粉的密度取下限值 2.5 g/cm³,相对离心力不小于 24 647 N/kg(2 515 g),对应本文中离心机旋转速度 3 000 r/min。由于其他参数变化较小且对计算结果影响有限,故采取本文的计算参数可以计算出这种条件下的沉降时间为 50 min。在此基础上对去除回收沥青中矿粉的技术进行优化改进:即采用高速离心分离法对抽提液中的矿粉进行清除,施加的相对离心力不小于 24 647 N/kg(2 515 g),离心分离时间不少于 50 min。同时,由于离心分离的最终目的是将矿粉从溶液中分离,而不管是普通基质沥青还是改性沥青,均溶解于有机溶液中,不会对矿粉的分离造成影响。因此,该方法可以适用于普通沥青和改性沥青的抽提液清除矿粉中。

4 结 语

(1)利用非均相物系的分离理论可以得出沥青抽提液中矿粉沉降的速度及时间的计算模型,且计算模型通过试验验证具有较高的准确性与可靠度。

(2)矿粉沉降速度与矿粉密度和离心力大小成

正相关。

(3)现行规范中推荐的方法不能有效去除沥青抽提液中的矿粉,且残留矿粉对沥青的延度影响较大。

(4)优化改进的去除回收沥青中矿粉的技术,可以明显提高矿粉分离的效率,即采用高速离心分离法对抽提液中的矿粉进行清除,施加相对离心力不小于 $24\ 647\ \text{N/kg}$ ($2\ 515\ g$),离心分离时间不少于 $50\ \text{min}$ 。

参考文献:

References:

- [1] 康宏伟,谭学章,纪小平. SBS 改性沥青的老化方程及应用[J]. 武汉理工大学学报,2011,33(5):95-99.
KANG Hong-wei, TAN Xue-zhang, JI Xiao-ping. Aging equation of SBS modified asphalt and its application[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2011, 33(5):95-99. (in Chinese)
- [2] 陈静云. 沥青路面再生方法的试验研究[D]. 大连:大连理工大学,2011.
CHEN Jing-yun. Experimental study on recycling methods of asphalt pavements[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011. (in Chinese)
- [3] 徐东,王新宽,陈博. 橡胶沥青混合料老化再生及其路用性能研究[J]. 武汉理工大学学报,2012,34(10):48-52.
XU Dong, WANG Xin-kuan, CHEN Bo. Research on properties of reclaimed rubber modified asphalt mixture[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2012, 34(10):48-52. (in Chinese)
- [4] 侯睿,李海军,黄晓明. 路面旧沥青回收及其影响因素的试验分析[J]. 公路,2005(4):170-173.
HOU Rui, LI Hai-jun, HUANG Xiao-ming. Test and analysis of influencing factor in asphalt cements extraction[J]. Highway, 2005(4):170-173. (in Chinese)
- [5] 郑南翔,纪小平,许辉. 甘肃省公路沥青路面再生技术应用研究[R]. 兰州:甘肃省公路管理局,2010.

ZHENG Nan-xiang, JI Xiao-ping, XU Hui. Application study on highway asphalt pavement regeneration technology in Gansu province[R]. Lanzhou: Highway Administration Bureau of Gansu Province, 2010. (in Chinese)

- [6] 李平,芦军,张争奇. 沥青混合料用矿粉性能指标研究[J]. 中国公路学报,2008,21(4):6-11.
LI Ping, LU Jun, ZHANG Zheng-qi. Research on performance index of mineral filler used in asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(4):6-11. (in Chinese)
- [7] 耿九光. 沥青老化机理及再生技术研究[D]. 西安:长安大学,2009.
GENG Jiu-guang. Study on the aging mechanism and recycling technique of asphalt[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)
- [8] 李祖仲,吴江龙,陈栓发,等. 沥青胶浆中矿粉沉降的影响因素及沉降检验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2012,32(4):15-20.
LI Zu-zhong, WU Jiang-long, CHEN Shuan-fa, et al. Influence factors and test of mineral filler sedimentation in asphalt mortar[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(4):15-20. (in Chinese)
- [9] 耿九光,戴经梁,原健安. 回收沥青中残留矿粉沉降理论分析及去除方法研究[J]. 公路交通科技,2010,27(9):23-27.
GENG Jiu-guang, DAI Jing-liang, YUAN Jian-an. Analysis of sedimentation theory and elimination method of residual filler in extraction of asphalt cement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(9):23-27. (in Chinese)
- [10] JTG E20—2011, 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
JTG E20—2011, Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering[S]. (in Chinese)

